

УДК 621.039

ПРОЦЕСС ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭНЕРГОБЛОКА № 1 БЕЛОРУССКОЙ АЭС. ЭТАПЫ, ПОДЭТАПЫ, ФАЗЫ

Цыганкова С.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

*«XXI век – век знания, наукоемких производств, высоких технологий
и стремительных инноваций...»*

На сегодняшний день, одной из самых актуальных и до конца не решённых проблем мировой энергетики остаётся энергосбережение и повышение эффективности использования природных ресурсов. В условиях возрастающего энергопотребления и грядущего истощения мировых запасов полезных ископаемых, таких как нефть, газ и др., эта проблема с каждым днём приобретает всё более ярко выраженный характер. Как следствие, обостряется конкуренция на рынке ископаемых энергоресурсов. В таких условиях в первую очередь зависимые от нефтегазового импорта страны, столкнуться с проблемой энергообеспечения собственного государства. Одним из путей решения данного вопроса является развитие атомной энергетики. Именно мирному атому отведена роль компенсации нехватки топливно-энергетических ресурсов.

Согласно базе данных Международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ) по энергетическим ядерным реакторам «PRIS» [1], по состоянию на октябрь 2019 г. в мире эксплуатируется 449 ядерных энергетических реакторов. Еще 52 энергоблока находятся на стадии строительства. На рис. 1 показано распределение числа эксплуатируемых атомных электростанций (далее – АЭС) в различных регионах мира.

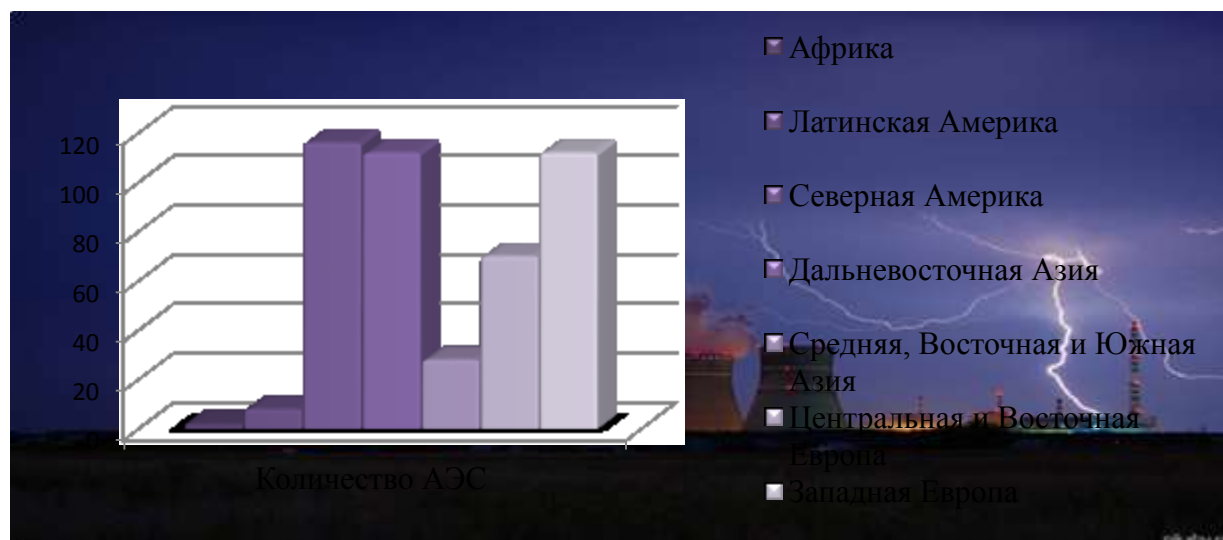


Рисунок 1. Распределение числа эксплуатируемых АЭС в различных регионах мира

Ежегодно все большее количество стран приходят к необходимости начала освоения технологий ядерной энергетики. Так 31 января 2008 г. Президентом Республики Беларусь было подписано постановление Совета Безопасности № 1 «О развитии атомной энергетики в Республике Беларусь».

По прогнозам экспертов, ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС позволит обеспечить дополнительные гарантии укрепления государственной независимости и экономической самостоятельности Республики Беларусь; снизит уровень использования природного газа в качестве энергоресурса; откроет новые возможности для развития национальной экономики; позволит снизить выбросы парниковых газов в атмосферу. Кроме вышеперечисленного, следует отметить, что начало эксплуатации АЭС будет способствовать экономическому и социальному развитию региона размещения АЭС, а бесценный опыт, приобретенный при её строительстве, позволит более полно и рационально использовать промышленный и кадровый потенциал страны при возведении объектов ядерной энергетики как в нашей республике, так и за её пределами.

К сожалению, Республика Беларусь практически не имеет собственных запасов энергетических ресурсов, и работа энергосистемы страны практически полностью зависит от поставок энергоресурсов из-за рубежа. Необходимо отметить, что основным топливом для традиционных ТЭС является природный газ. В соответствии с энергетическим балансом Республики Беларусь, с использованием природного газа выработка электроэнергии на электростанциях страны составляет на 98,7%, поставляемым в страну из одного источника – Российской Федерации. Усугубляет ситуацию то, что в Республике Беларусь практически отсутствуют значимые объемы хранилищ природного газа.

Необходимо отметить, что перед отдельными европейскими странами встают схожие проблемы, и в них принимаются законы, ограничивающие производство энергии из одного вида топлива не более 50% от общего энергопроизводства, что в перспективе может привести даже к существенному изменению структуры энергосистемы страны.

В отличие от других топливно-энергетических ресурсов, для атомной электростанции возможно создание гарантированного запаса ядерного топлива. Каждое государство самостоятельно определяет, на какой срок создается такие запасы, общемировой практикой определены сроки от 1 до 5 лет в зависимости от стратегии энергетической безопасности государства. Создание такого запаса «свежего» ядерного топлива позволит существенно повысить как устойчивость республиканской энергосистемы, так и энергетическую безопасность в целом Республики Беларусь.

В соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии от 17 декабря 2015 г. «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» [2], **«ввод в эксплуатацию блока атомной станции** – процесс, во время которого системы и оборудование атомной электрической станции начинают функционировать, а также проверяются их соответствие проекту атомной электрической станции и готовность к эксплуатации, завершающийся получением в установленном градостроительным законодательством порядке разрешения на ввод объекта в эксплуатацию».

Целью ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС является приведение систем (элементов) и блока АЭС в целом в состояние, при котором должна быть осуществлена безопасная эксплуатация блока АЭС [2].

Эксплуатация энергоблоков Белорусской АЭС может осуществляться на основании специального разрешения (лицензии) на право осуществления деятельности в области использования атомной энергии. Лицензия на эксплуатацию блока АЭС выдаётся Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (далее – МЧС), при этом решение о выдаче лицензии принимает регулирующий орган в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности – Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [3]. Лицензия на эксплуатацию должна быть получена эксплуатирующей организацией после завершения всех предпусковых наладочных работ до первого завоза ядерного топлива на площадку Белорусской АЭС.

Ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС осуществляется в соответствии с Программой ввода в эксплуатацию [4], утверждённой Генеральным директором Государственного предприятия «Белорусская АЭС» и согласованной Президентом группы компаний АО «Атомстройэкспорт».

В соответствии с Программой ввода в эксплуатацию энергоблока № 1 Белорусской АЭС, ввод в эксплуатацию энергоблока АЭС подразделяется на последовательно выполняемые этапы, подэтапы и фазы [4]:

1. Этап А – **«Предпусковые наладочные работы»** (длительность примерно 146 суток), который включает следующие подэтапы:

А-1 – «Испытания и опробования оборудования» (длительность 50 суток);

А-2 – «Испытания системы герметичных ограждений» (длительность 10 суток);

А-3 – «Холодно-горячая обкатка», состоит из следующих фаз:

фаза А-3.1 – «Холодная фаза» (длительность 7 суток);

фаза А-3.2 – «Горячая фаза» (длительность 25 суток);

При этом между фазами А-3.1 и А-3.2 может проводиться предупредительный ремонт и ревизия оборудования (длительность 14 суток).

А-4 – «Ревизия основного оборудования» (длительность 40 суток).

2. Этап Б – **«Физический пуск»** (длительность примерно 39 суток), включает следующие этапы:

Б-1 – «Загрузка реактора ядерным топливом и испытания в подкритическом состоянии»;

Б-2 – «Достижение критического состояния реактора и физические эксперименты на МКУ».

3. Этап В – **«Энергопуск»** (длительность примерно 48 суток).

4. Этап Г – **«Опытно-промышленная эксплуатация»** (длительность примерно 147 суток), включает следующие подэтапы:

Г-1 – «Освоение мощности блока до 100 % $N_{ном}$ »;

Г-2 – «Комплексное опробование блока на номинальной мощности».

В соответствии с [4], решение о проведении этапа (подэтапа) ввода в эксплуатацию блока АЭС принимает группа руководством пуска (далее – ГРП). Основанием для принятия решения являются: наличие акта Госатомнадзора о проверке готовности блока АЭС к этапу (подэтапу) ввода в эксплуатацию, полного отчёта о работах, проведённых на предыдущем этапе (подэтапе), отчёта эксплуатирующей организации об устранении несоответствий, выявленных проверками Госатомнадзора, препятствующих проведению этапа (подэтапа), и выполнения всех требований, установленных в условиях действия лицензии на эксплуатацию блока АЭС.

На сегодняшний день особый интерес представляет этап А процесса ввода в эксплуатацию энергоблока №1 Белорусской АЭС. Как уже отмечалось выше, настоящий этап состоит из четырёх подэтапов и двух фаз. Рассмотрим перечень основных работ, которые должны быть выполнены на этапе А.

В соответствии с [4], на подэтапе А-1 этапа А процесса ввода в эксплуатацию должны быть выполнены следующие работы:

1. По электротехническим устройствам:

завершение постановки под напряжение, ввода в работу и приёмки в эксплуатацию секций и схем собственных нужд энергоблока, включая блочный трансформатор и рабочие трансформаторы собственных нужд;

проверка работы электротехнического оборудования при индивидуальных испытаниях технологического оборудования, поузловом и комплексном опробовании систем энергоблока.

2. По техническим средствам автоматизированной системы управления технологическими процессами (далее – АСУ ТП):

метрологическая аттестация измерительных каналов;

режимная наладка и испытания функций измерительных каналов подсистем АСУ ТП с воздействия на технологический объект управления при индивидуальных испытаниях технологического оборудования;

определение фактических значений эксплуатационных характеристик АСУ ТП технологических систем при их индивидуальных испытаниях;

отладка (доработка при необходимости) программного обеспечения;

введение в работу системы автоматической пожарной сигнализации;

автономная наладка и предварительные испытания локальных программно-технических комплексов (далее – ПТК).

3. По технологическим системам, оборудованию и трубопроводам:

проверка соответствия систем, оборудования и трубопроводов требованиям проекта;

послемонтажная очистка оборудования и трубопроводов;

индивидуальные испытания оборудования и трубопроводов;

поузловое и комплексное опробование систем энергоблока, обеспечивающих проведение гидроиспытаний, промывку и обкатку реакторной установки (далее – РУ);

наладка, испытания и подготовка к загрузке имитаторов тепловыделяющих сборок (далее – ТВС);

при технической готовности систем и оборудования, на подэтапе А-1 допускается выполнить гидравлические испытания на прочность и плотность первого контура и парогенераторов по второму контуру, а также испытания указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень допустимых испытаний для подэтапа А-1

1	Испытания гидроамортизаторов при разогреве-расхолаживании первого контура при температуре от (20 – 60) °С до (105 – 135) °С
2	Испытания ГЦНА на «холодной» воде
3	Проверка технологического режима работы маслосистемы ГЦНА при проведении пробного пуска ГЦНА
4	Пробный пуск ГЦНА
5	Контроль перемещений трубопроводов и оборудования первого контура при разогреве-расхолаживании реакторной установки
6	Наладка уровнемеров ПГ и определение реперных высотных отметок минусовых отборов уровнемеров ПГ и другие испытания.

На подэтапе А-2 должны быть выполнены следующие работы:

- снятие исходного состояния напряжений и деформаций элементов защитной оболочки;
- вакуумирование и внутренний осмотр герметичного корпуса;
- ступенчатый подъем давления в защитной оболочке до давления испытания на прочность;
- замеры величин утечки из системы герметичного ограждения при испытательном и расчетном давлении;
- контроль напряженно-деформированного состояния защитной оболочки;
- контроль усилия контрольных арматурных канатов;
- техническое освидетельствование защитной оболочки надзорными органами.

Рассмотрим работы, которые должны быть выполнены в рамках фазы А-3.1 подэтапа А-3.

1. По электротехническим устройствам:

испытания системы электропитания I и II группы;

проверка работоспособности систем и оборудования электропитания потребителей собственных нужд энергоблока, участвующих в проведении подэтапа.

2. По техническим средствам АСУ ТП:

комплексная проверка управления, защит, блокировок, сигнализации и автоматики систем и оборудования энергоблока, задействованных в проведении работ на подэтапе;

проверка работоспособности информационного (вычислительного) комплекса (системы), программного обеспечения и информационно-измерительных каналов в объеме, обеспечивающем проведение работ на подэтапе;

комплексное опробование программ функционально-группового управления оборудования и технологических систем, участвующих в проведении работ на подэтапе;

проверка работоспособности и настройка регуляторов и контрольно-измерительных приборов, участвующих в проведении работ на подэтапе.

3. По технологическим системам, оборудованию и трубопроводам:

испытания трубопроводов и технологического оборудования первого контура на прочность и герметичность (при технической готовности данные работы допускается выполнить на подэтапе А-1);

циркуляционная промывка трубопроводов и оборудования реакторной установки;

теплогидравлические испытания, тензометрирование, термометрирование и измерения перемещений оборудования РУ (при технической готовности данные работы допускается выполнить на подэтапе А-1);

наладка и испытания систем нормальной эксплуатации (при технической готовности данные работы допускается выполнить на подэтапе А-1);

наладка и испытания систем безопасности (при технической готовности данные работы допускается выполнить на подэтапе А-1);

наладка водно-химического режима первого контура и установок спецводоочистки (при технической готовности данные работы допускается выполнить на подэтапе А-1);

проверка работоспособности защитных устройств и локализующей арматуры (при технической готовности данные работы допускается выполнить на подэтапе А-1);

вибрационные испытания оборудования и трубопроводов РУ (при технической готовности данные работы допускается выполнить на подэтапе А-1).

Между фазами А-3.1 и А-3.2 могут проводиться следующие работы:

1. Устранение неисправностей, обнаруженных на подэтапе А-3, фаза А-3.1;

2. Наложение теплоизоляции на оборудование и трубопроводы (данную работу частично или полностью допускается выполнить на подэтапе А-1);

3. Очистка регулирующих клапанов (при необходимости);

4. Ревизия парогенераторов (при необходимости);

5. Разуплотнение приводов системы управления и защиты (далее – СУЗ), проверка и отмывка внутренних поверхностей чехлов приводов, установка штанг приводов, сцепление штанг приводов с имитаторами

регулирующих органов, проверка проходимости штанг с имитаторами регулирующих органов;

6. Ревизия подшипников главных циркуляционных насосных агрегатов (далее – ГЦНА) (при необходимости).

Рассмотрим работы, которые должны быть выполнены в рамках фазы А-3.2 подэтапа А-3.

1. По электротехническим устройствам:

проверка работоспособности системы надежного питания потребителей I и II групп в режиме обесточивания АЭС;

испытание системы надежного электроснабжения I и II группы (комплексное опробование);

испытания СУЗ (электрическая часть);

2. По техническим средствам АСУ ТП:

режимная наладка систем автоматического регулирования;

проверка работоспособности составных частей АСУ ТП в реальных условиях эксплуатации;

уточнение фактических значений эксплуатационных характеристик составных частей АСУ ТП;

доведение параметров настройки средств автоматизации до значений, при которых системы могут быть использованы в эксплуатации;

комплексные испытания взаимного функционирования подсистем АСУ ТП с воздействием на технологический объект управления в рабочих условиях при комплексном опробовании технологического оборудования;

испытания СУЗ;

проверка состояния оборудования с помощью специальных измерений системами диагностики;

тарировка датчиков термоконтроля системы внутриреакторного контроля;

проверка работоспособности технологических защит и блокировок технологических систем и оборудования;

комплексная проверка достоверности контроля параметров РУ;

3. По системе пусконаладочных измерений (далее – СПНИ):

контроль характеристик вибрационной нагруженности внутрикорпусных устройств реактора;

контроль вибрационных характеристик имитаторов тепловыделяющих сборок реактора;

виброшумовой контроль реактора;

контроль теплогидравлических характеристик реактора и первого контура;

контроль теплогидравлических характеристик верхнего энергоблока и шахтного объема;

контроль температур и напряжений элементов оборудования главного циркуляционного трубопровода, парогенераторов, компенсатора давления;

контроль пульсаций давления, перемещений и вибраций элементов оборудования реакторной установки;

контроль температур и напряжений элементов оборудования системы пассивного отвода тепла;

контроль гидравлических характеристик системы аварийного газоудаления.

4. По технологическим системам, оборудованию и трубопроводам:

контроль перемещений трубопроводов и оборудования, проверка работы опор, подвесок и гидроамортизаторов при разогреве и расхолаживании реакторной установки;

испытания и измерения на реакторе и оборудовании первого контура (снятие тепловых и гидравлических характеристик, измерение напряжений, температур, вибраций, перемещений и т.д.);

испытание режимов разогрева и расхолаживания реакторной установки;

проверка эффективности тепловой изоляции оборудования и трубопроводов реакторной установки в пределах защитной оболочки;

проверка параметров ГЦНА и его вспомогательных систем на соответствие проектным значениям;

измерение напряжений и температур на ПГ;

наладка уровнемеров ПГ;

контроль перемещений парогенераторов при разогреве и расхолаживании реакторной установки;

проверка плотности импульсно-предохранительного устройства компенсатора объёма (далее – ИПУ КО) испытание режима замены азотной подушки на паровую;

проверка эффективности барботажного бака при работе одного ИПУ;

проверка эффективности работы впрыска в КО;

проверка эффективности впрыска в КО от системы подпитки первого контура при неработающих ГЦНА;

измерение напряжений и температур в элементах КО;

наладка водно-химического режима первого контура и установок спецводоочистки;

наладка водно-химического режима второго контура;

наладка водно-химического режима топливного бассейна;

испытания режимов системы отвода остаточного тепла;

испытания основных систем и оборудования РУ и систем безопасности;

испытания вспомогательных систем при разогреве первого контура, номинальных параметрах первого контура и при расхолаживании первого контура;

проверка работоспособности автоматических регуляторов параметров РУ при разогреве и расхолаживании (регулятора уровня в КО, регулятора давления в первом контуре и т.д.);

проверка ИПУ КО и ПГ, отсечных клапанов ПГ;

продувка главных паропроводов импульсным методом (собственным паром РУ).

На подэтапе А-4 должны быть выполнены следующие работы:

1. По электротехническим устройствам:

завершение наладки и испытаний электротехнических устройств;

сдача их в эксплуатацию в объеме, необходимом для проведения этапа физического пуска реактора.

2. По техническим средствам АСУ ТП:

окончание опытной эксплуатации составных частей (подсистем) АСУ ТП в объеме, необходимом для проведения этапа физического пуска реактора;

завершение наладки и испытаний систем измерения и контроля РУ и сдача их в эксплуатацию в объеме, необходимом для проведения этапа физического пуска реактора;

проверка готовности спецсистем в объеме, необходимом для проведения этапа физического пуска реактора.

3. По технологическим системам, оборудованию и трубопроводам:

ревизия оборудования РУ, объем ревизии определяется требованиями, указанными в документации заводов-изготовителей оборудования, Главного конструктора РУ и других разработчиков систем и оборудования РУ, а также результатами испытаний оборудования на предыдущих подэтапах;

устранение обнаруженных при испытаниях и ревизии неисправностей и отклонений от проектных требований;

контроль металла оборудования и трубопроводов первого и второго контуров неразрушающими методами в необходимом объеме в соответствии с требованиями действующих норм и правил;

контроль состояния внутренних поверхностей оборудования первого контура с целью оценки качества ведения водно-химического режима в период обкатки;

выполнение разборки реактора, извлечение имитаторов ТВС и вывоз их из центрального зала, контроль состояния элементов реактора, ревизия приводов СУЗ;

демонтаж датчиков, линий связи системы пусконаладочных измерений и восстановление проектного состояния;

контроль состояния и ревизия оборудования первого контура;

окончание монтажа штатной теплоизоляции на трубопроводах и оборудовании первого контура;

испытание технологического режима работы системы охлаждения топливного бассейна, очистка и прием на чистоту топливного бассейна;

наладка и проверка работоспособности системы обнаружения дефектных сборок;

комплексная проверка и сдача в эксплуатацию перегрузочной машины;

комплексные испытания оборудования шахт ревизии под водой;

создание необходимого запаса раствора борной кислоты в соответствии с требованиями программы физического пуска реактора;

проведение промывок раствором борной кислоты и заполнение трубопроводов и баков в объеме, обеспечивающем готовность к загрузке ТВС в реактор;

выполнение проверок систем безопасности и ввод их в режим ожидания;

выполнение мероприятий по обеспечению ядерной безопасности в соответствии с программой физического пуска;

подготовка реактора к загрузке тепловыделяющими сборками;

завоз свежего топлива в объеме первой загрузки, выполнение входного контроля ядерного топлива, и установка ТВС в защитные чехлы согласно картограмме загрузки.

Завершается каждый этап (подэтап, фаза) передачей Госатомнадзору эксплуатирующей организацией в течение 5 рабочих дней краткого отчёта об окончании этапа (подэтапа, фазы). Полный отчёт об окончании этапа (подэтапа) ввода в эксплуатацию блока АЭС представляет ЭО в Госатомнадзор в течение 20 рабочих дней после завершения работ.

Исходя из рассмотренного перечня работ, выполняемых на этапе А процесса ввода в эксплуатацию энергоблока №1 Белорусской АЭС, можно сделать следующие выводы:

1. Термин «ввод в эксплуатацию блока атомной станции» понимается на территории Республики Беларусь в значении, определённом в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии от 17 декабря 2015 г. «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций»;

2. Термин «ввод в эксплуатацию блока атомной станции» следует различать с термином «ввод в эксплуатацию» в градостроительном законодательстве, который определяется как завершающаяся процедура, когда после всех предшествующих этапов выдается официальное разрешение на постоянную эксплуатацию объекта строительства;

3. Основной целью процесса является приведение систем (элементов) и блока АЭС в целом в состояние, при котором должна быть осуществлена безопасная эксплуатация блока АЭС;

4. В Республике Беларусь разрешение (лицензию) на эксплуатацию блока АЭС выдаёт МЧС, по решению Госатомнадзора;

5. Лицензия на эксплуатацию должна быть получена эксплуатирующей организацией после завершения всех предпусковых наладочных работ до первого завоза ядерного топлива на площадку Белорусской АЭС;

6. Процесс ввода в эксплуатацию энергоблока Белорусской АЭС является сложным: включает 4 этапа, 8 подэтапов и 2 фазы;

7. Продолжительность этапов, подэтапов, фаз является важным показателем, который прямо влияет на финансовую составляющую проекта АЭС;

8. Продолжительность процесса ввода в эксплуатацию энергоблока №1 Белорусской АЭС составляет около 380 суток;

9. Решение о проведении этапа (подэтапа) ввода в эксплуатацию блока АЭС принимает ГРП. Основанием для принятия решения являются: наличие акта Госатомнадзора о проверке готовности блока АЭС к этапу (подэтапу) ввода в эксплуатацию, полного отчёта о работах, проведённых на предыдущем этапе (подэтапе), отчёта эксплуатирующей организации об устранении несоответствий, выявленных проверками Госатомнадзора, препятствующих проведению этапа (подэтапа), и выполнения всех требований, установленных в условиях действия лицензии на эксплуатацию блока АЭС.

10. Каждый этап (подэтап, фаза) завершается) передачей Госатомнадзору эксплуатирующей организацией в течение 5 рабочих дней краткого отчёта об окончании этапа, в течение 20 рабочих дней полного отчёта.

Литература

1. Power Reactor Information System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>. – Дата доступа: 24.10.2019.
2. НП-001-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций», приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.12.2015 № 522.
3. О лицензировании отдельных видов деятельности: Указ Президента Республики Беларусь, 1 сентября 2010 г., № 450.
4. Программа ввода в эксплуатацию энергоблока № 1 Белорусской АЭС BLR1.T.534.1.&&&&&&&&.000.PG.0012.